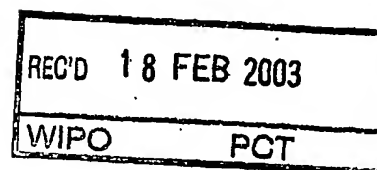


PRV

PATENT- OCH REGISTRERINGSVERKET
Patentavdelningen

Intyg
Certificate



PCT/ SE 03 / 0 0 1 5 9

Härmed intygas att bifogade kopior överensstämmer med de handlingar som ursprungligen ingivits till Patent- och registreringsverket i nedannämnda ansökan.

This is to certify that the annexed is a true copy of the documents as originally filed with the Patent- and Registration Office in connection with the following patent application.



(71) Sökande *Totalförsvarets forskningsinstitut, Stockholm SE*
Applicant (s)

(21) Patentansökningsnummer 0200263-2
Patent application number

(86) Ingivningsdatum 2002-01-30
Date of filing

Stockholm, 2003-02-04

För Patent- och registreringsverket
For the Patent- and Registration Office

Lina Oljeqvist
Lina Oljeqvist

Avgift
Fee

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

PATENT- OCH
REGISTRERINGSVERKET
SWEDEN

Postadress/Adress
Box 5055
S-102 42 STOCKHOLM

Telefon/Phone
+46 8 782 25 00
Vx 08-782 25 00

Telex
17978
PATOREG S

Telefax
+46 8 666 02 86
08-666 02 86

BEST AVAILABLE COPY

PULSDETONATIONSMOTOR OCH METOD ATT INITIERA DETONATIONER

Uppfinningen avser en pulsdetonationsmotor och en metod att initiera detonationer i en pulsdetonationsmotor med ett flertal i längdled placerade munstycken för
 5 bränsleinsprutning och mer specifikt flera insprutningsventiler anordnade i motorns längdriktning för en styrd insprutning av en bränsleluftblandning i kvarvarande förbränningsgaser.

Pulsdetonationsmotorn tillhör luftförbrukande motorer och har ungefär samma
 10 användningsområden som jetmotorn. Till skillnad mot jetmotorn så har dock pulsdetonationsmotorn betydligt färre rörliga delar samt använder intermittent förbränning av bränslet istället för kontinuerlig. En introduktion till pulsdetonationsmotorn finns i tidningen "Militärteknisk tidskrift", nr. 4 (2001), sid. 26-29, "An introduction to the pulse detonation engine" skriven av Jon Tegnér.
 15 Patentskrifterna US 2 612 748, US 2 860 484, CH 283 880 och DE 1 022 912 visar även de pulsdetonationsmotorer.

Vid en pulsdetonationsmotor (PDM) fylls brännkammaren med en detonerbar blandning av luft och bränsle. Bränslet kan vara en gas t.ex. acetylen eller väte,
 20 utgöras av vätskedroppar (aerosol) av t.ex. flygfotogen eller utgöras av ett mycket finkornigt pulver av t.ex. bor eller kol. Luften kan tas in genom luftintag eller så kan medhavd oxidator användas.

De största svårigheterna med att erhålla en fungerande, luftandande
 25 pulsdetonationsmotor är initieringen av detonationen i varje cykel. Man kan särskilja på två olika metoder (som har flera gemensamma karakteristika) att initiera detonationen: direkt initiering och initiering genom övergång från deflagration.

För att åstadkomma en direkt initiering (t.ex. med tändstift, "exploding wire", eller
 30 tändpärla) krävs för t.ex. acetylen blandat med luft 100-tals Joule. Detta är inte rimligt i en motor där detonationen behöver initieras uppemot 100 gånger per sekund. För att minska den energi som krävs kan bränsleluftblandningen berikas med syrgas eller andra ämnen som gör blandningen känsligare. Detta har dock
 nackdelen att motorns specifika impuls minskas.

35

Vid initiering genom övergång från deflagration till detonation krävs inga stora energimängder. Blandningen antänds, t.ex. med hjälp av ett tändstift, varefter flamman accelererar upp till detonationshastighet. Övergången är dock långsam då flamman måste propagera en längre sträcka innan den når detonationshastigheten och övergången fullbordats. Liksom vid direkt initiering påverkas även denna metod om blandningen görs känsligare (t.ex. genom berikning med syrgas) vilket leder till att övergången blir snabbare, men också till att motorns specifika impuls minskas.

För att en pulsdetonationsmotor skall bli effektiv är det kritiskt att initieringen optimeras på ett sådant sätt att mängden energi, mängden extra tillsatser (t.ex. syrgas) samt längden av övergångsområdet minimeras. Dessutom är det önskvärt att kunna använda standardbränslen dvs. bränslen som varken är dyra och/eller överdrivet svårhanterliga (t.ex. giftiga, miljöfarliga eller stötkänsliga). Gemensamt för de bägge metoderna att initiera detonationen beskrivna ovan är skapandet av de kritiska villkor i strömningsfältet som är nödvändiga för att detonationen skall bildas. Vid direkt initiering skapas dessa villkor av den initiala stötvågen som är av sådan styrka att förbränningen äger rum i direkt anslutning till den varvid detonationen bildas mer eller mindre direkt.

I fallet med övergång från deflagration är de kritiska villkoren som är nödvändiga för att detonationen skall bildas resultatet av turbulens (småskaligt fenomen), virvlar (storskaligt fenomen) och stötvågors inverkan på strömningsfältet. Både turbulens, virvlar och stötvågor är en följd av de ökande strömningshastigheterna i mediet (och även beroende av utformningen av rörets inre geometri), och deras effekter ökar i styrka när flammans brinnande yta ökar. I de fall en övergång till detonation äger rum, är de kritiska villkoren en följd av en instabil process där turbulens, virvlar och stötvågor ingår. Dvs. kraftigare virvlar och ökande turbulens ger upphov till större brinnande yta vilket i sin tur resulterar i än kraftigare virvlar och än ökande turbulens osv. Dessutom underlättas själva övergången till detonationen av temperaturökningen över stötvågen.

Uppfinningen visar en pulsdetonationsmotor och en metod som gör det möjligt att initiera detonationer med ett minimum av energi och extra tillsatser, samt utan att behöva förlita sig på svårhanterliga och/eller dyra bränslen. Dessutom kan tidigare krav på en viss minsta diameter på motorn kringgås, samt högre maximal dragkraft och specifik impuls uppnås än vad som är möjligt med känd pulsdetonationsteknik.

I föreliggande pulsdetonationsmotor och metod visas en pulsdetonationsmotor med flera insprutningsventiler anordnade i motorns längdriktning för insprutning av bränsle i kvarvarande förbränningsgaser.

5

Uppfinningen skall i det följande närmare beskrivas med hänvisning till bifogade figurer:

- | | | |
|----|----------|---|
| | Fig. 1 | visar en pulsdetonationsmotor enligt uppfinningen. |
| 10 | Fig. 2 | visar insprutningsskedet enligt en första metod. |
| | Fig. 3 | visar detonationsfronten. |
| | Fig. 4 | visar när detonationen lämnat brännkammaren och en cykel är fullbordad. |
| | Fig. 5 | visar början av insprutningen enligt en andra metod. |
| 15 | Fig. 6-7 | visar insprutning och detonationsfrontens framskridande. |
| | Fig. 8 | visar när detonationen lämnat brännkammaren och en cykel är fullbordad. |

Uppfinningen nedan beskrivs med början från den andra pulsen. Den första pulsen
20 skapad i pulsdetonationsmotorn kommer inte att ge full effekt utan är nödvändig för att skapa förutsättningar för att den andra och därefter följande pulser kan ge full effekt. Användningen av restprodukterna efter en tidigare puls innebär även att pulsdetonationsmotorn inte har någon anordning som blåser rent brännkammaren efter varje puls.

25

Figur 1 visar en pulsdetonationsmotor enligt uppfinningen. Pulsdetonationsmotorn (1) innefattar en brännkammare (2) med en tändanordning (3) i ena ändan, samt en bränsleinsprutningsanordning (4) innefattande ett flertal insprutningsventiler (5). Insprutningsventilerna (5) är anordnade i brännkammarens längdriktning (20). På
30 detta sätt kan brännkammaren (2) fortare fyllas med nytt bränsle efter det att pulsen lämnat brännkammaren (2) jämfört med att anordna insprutningsventiler (5) enbart i ena ändan av brännkammaren (2). Figur 2 visar insprutning av en bränsleluftblandning (6) efter det att en puls lämnat pulsdetonationsmotorn. Enligt denna första utföringsform öppnas alla ventiler (5) samtidigt och sprutar in
35 bränsle/luft (6) i brännkammaren (2). Bränsle/luftblandningen blandas där med förbränningsprodukter (7) kvar från den föregående förbränningen. Dessa

förbränningsprodukter (7) innehåller bl.a. fria radikaler. Fria radikaler är restprodukter som uppstår efter en ofullständig förbränning, bl.a. syreatomer och OH-molekyler. En av uppfinningens huvudprinciper är att närvaron av dessa fria radikaler underlättar bildandet av en detonation. Dessutom är

- 5 förbränningsprodukterna (7) varma och värmer upp pulsdetonationsmotorn (1). Denna värme höjder temperaturen på blandningen i brännkammaren (2) vilket även det underlättar bildandet av detonationen.

Figur 3 visar hur detonationsfronten (10) rör sig genom brännkammaren (2).

- 10 Bränsle/luft (6) och förbränningsprodukterna (7) är blandade och bildar en blandning (8) som har lätt för att detonera. I brännkammaren (2) detonerar blandningen (8) var efter detonationsfronten (10) rör sig fram. I figur 4 har detonationsfronten lämnat brännkammaren och lämnat efter sig förbränningsprodukter (7) som kan utnyttjas av nästa puls.

15

En andra utföringsform av bränsleinsprutningen visas i figur 5. Här öppnas inte alla ventilerna samtidigt utan i en bestämd ordning, sekvensstyrning. Först öppnas den ventilen (5₁) som är närmast tändanordningen (3). Bränsle/luft sprutas in i de

20

kvarvarande förbränningsgaserna vilka genom de fria radikalerna underlättar detonationen att bildas. Blandningen (8) tänds sedan genom tändanordningen (3).

Den bildade detonationen har en detonationsfront (10) som rör sig genom brännkammaren (2), se figur 6. Innan detonationsfronten (10) når fram till nästa ventil öppnas den och sprutar in bränsle/luft som detonerar när detonationsfronten når fram. Detonationen upprätthålls genom det höga tryck som detonationsfronten

25

åstadkommer när den rör sig i brännkammaren. Förloppet är även visat med fyra godtyckliga ventiler (5_x, 5_{x+1}, 5_{x+2}, 5_{x+3}). Den första ventilen (5_x) är stängd då detonationsfronten (10) redan passerat och detonerat den bränsle/luftblandning som ventilen sprutat in i brännkammaren. Den andra ventilen (5_{x+1}) är fullt öppen och på väg att stängas då detonationsfronten (10) snart kommer att detonera den

30

insprutade bränsle/luft blandningen. Den tredje ventilen (5_{x+2}) har börjat öppnas och den fjärde ventilen (5_{x+3}) har ännu inte öppnas.

I figur 7 har detonationsfronten precis lämnat brännkammaren (2). I figur 8 har detonationen lämnat brännkammaren (2) och kvar finns förbränningsprodukter (7)

35

som börjar blandas med bränsle enligt figur 5, för att åstadkomma nästa puls.

En fördel med en sekvensstyrd insprutning är att bränsle/luftblandningen är i kontakt med de fria radikalerna under en kortare tid. Kontakten med fria radikaler underlättar inte bara bildandet av detonation utan kan även leda till att blandningen antänds. Att bränsle/luftblandningen tänds innan detonationsfronten hunnit fram ger en försämradeffekt och bör undvikas om maximal effekt skall uppnås.

Styrningen av ventilerna kan exempelvis ske med hjälp av en kamaxel. Antalet insprutningsventiler (5_x) bör vara fler än två, den övre gränsen sätts främst av vad som är praktiskt möjligt. Flera insprutningsventiler ger bättre möjlighet att ha kontroll på pulsen. För små pulsdetonationsmotorer kan fem insprutningsventiler ge en tillräckligt bra kontroll medan större motorer kan behöva 18-20 stycken och om utrymme finns 100 stycken eller ännu fler.

Uppfinningen grundar sig på tre principer. Den första är att bildandet av detonationen underlättas när fria radikaler är närvarande i mediet innan detonationen initieras, samt vid förhöjda temperaturer av det oförbrända mediet. Fria radikaler och förhöjd temperatur i det oförbrända mediet kommer också att minska den minsta diameter som krävs hos ett rör för att en stabil detonation skall kunna propagera genom det.

Den andra principen är att övergången till detonation kan beskrivas som en "konvekterad explosion" där explosionsgränserna för olika punkter i rummet uppnås i en tidsföljd som överensstämmer med ljudhastigheten i de brända gaserna. Vid lyckad övergång leder detta till ett successivt ökande tryck som slutligen uppnår sådana nivåer att förbränningen kopplas samman med stötvågen, och detonationen bildas. Begreppet konvekterad explosion beskrivs närmare i bl.a. ICASE/NASA LaRC series "Major research topics in combustion" M.Y. Hussaini, A Kumar, R.G. Voigt; kap "On the transition from deflagration to detonation" av Joseph E. Shepherd & John H.S. Lee; utgiven av Springer Verlag.

Den tredje principen är att om det brännbara mediet reagerar och förbrukas - helt eller delvis - innan detonationen anländer kommer motorens verkningsgrad att försämrats. Anledningen till detta är att förbränningen i detta fall äger rum under betydligt lägre tryck än vad som uppnås vid förbränning i detonationsform och därmed uppnår sämre verkningsgrad.

Anordningen och metoden enligt uppfinningen utnyttjar ovanstående principer genom att vid varje puls utnyttja värme och resterande fria radikaler från den föregående pulsen. Bränsle och luft sprutas in genom ett antal ventiler distribuerade i motorns längdriktning där en effektiv omblandning mellan de kalla gaserna (bränslet och luften) och de heta förbränningsgaserna eftersträvas. Här är det viktigt att notera att känsligheten hos denna blandning är betydligt större än för endast de kalla gaserna (princip 1). Insprutningen genom ventilerna kan ske i en tidssekvens som är avpassad till mediets (blandningen mellan de kalla oförbrända gaserna och restprodukterna från föregående cykel) känslighet. Det vill säga är mediet tillräckligt känsligt är initieringen inget problem, och det viktiga är i stället att förhindra förbränning innan detonationen anländer (i enlighet med princip 3). Är mediet i stället okänsligt kan initieringen provoceras fram genom att välja en hastighet på tidssekvensen som överensstämmer med den i princip 2. I bägge dessa fall är det optimalt att välja en hastighet i närheten av detonationshastigheten (CJ (Chapman-Jouguet)-hastigheten) för mediet.

Såsom framgått av det ovanstående utnyttjar metoden heta restprodukter vid initieringen av varje ny detonation. Detta innebär att någon form av tändanordning krävs för att tända den första pulsen, samt att förbränningen vid denna första puls ej kommer att äga rum i form av en detonation, och följaktligen ej heller kommer att generera full prestanda. Däremot kan, beroende på mediets känslighet och frekvensen med vilken detonationerna upprepas, men behöver inte, motorn vid fortvarighetstillstånd arbeta utan någon tändanordning, dvs. de heta restprodukterna och motorns heta strukturer är tillräckligt för att tända påföljande cykel.

En viktig fördel med uppfinningen är att detonationen initieras med ett minimum av tillförd energi, utan extra tillsatser samt utan att behöva använda svårhanterliga eller dyra bränslen. Dessutom kan följande fördelar nämnas: Den ökade känslighet som uppnås genom att blanda gaserna med de heta restprodukterna gör att detonationen kan fås att propagera genom rör med mindre diametrar än vad som annars hade varit möjligt. Detta är av stor betydelse när små motorer skall konstrueras (t.ex. för bruk i UAv'er (Unmanned Aerial Vehicles)). Genom att spruta in bränsle och luft vid flera stationer kan en högre maximal frekvens och därmed också högre dragkraft uppnås (genom att utnyttja flera ventiler kan strömningshastigheten genom varje ventil minskas dramatiskt mot vad som krävs om endast en ventil - i motorns ena ända - används).

Dynamiken i uppfinningen kan även utnyttjas till att initiera detonationer vid flera stationer samtidigt varmed frekvens och dragkraft kan ökas ytterligare. Genom att utnyttja de ej fullständigt förbrända komponenterna i de heta gaserna - och anpassa
5 luftflödet till att utnyttja dem - kan bränslet utnyttjas effektivare och högre specifik impuls kan uppnås. Uppfinningen kan även leda till en pulsdetonationsmotor och metod med effektiv förbränning även om det inte leder till detonation i varje cykel.

Uppfinningen är i utföringsexemplen beskriven med insprutning av en
10 bränsle/luftblandning, det går även att använda en ren bränsleinsprutning och tillföra luft (oxidator) på annat sätt eller använda ett ämne som innehåller både bränsle och oxidator.

PATENTKRAV

1. Pulsdetonationsmotor (1) innefattande en brännkammare (2), en tändanordning (3), samt en bränsleinsprutningsanordning (4), k ä n n e t e c k n a d
5 a v att bränsleinsprutningsanordningen innefattar ett flertal i axiell riktning (20) anordnade insprutningsventiler (5).
2. Pulsdetonationsmotor enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a d a v att
10 brännkammaren (2) innehåller restprodukter (7) efter en förbränning och därmed fria radikaler när bränslet sprutas in.
3. Pulsdetonationsmotor (1) enligt patentkrav 1 eller 2, k ä n n e t e c k n a d
a v att insprutningsventilerna (5) öppnas samtidigt för att spruta in bränsle i
brännkammaren (2).
15
4. Pulsdetonationsmotor enligt patentkrav 3, k ä n n e t e c k n a d a v att
insprutningsventilerna (5) sprutar in en bränsleluftblandning i brännkammaren (2).
5. Pulsdetonationsmotor enligt något av patentkraven 1-4, k ä n n e t e c k n a
20 d a v att pulsdetonationsmotorn innefattar fler än 5 insprutningsventiler (5).
6. Pulsdetonationsmotor enligt något av patentkraven 1-5, k ä n n e t e c k n a
d a v att pulsdetonationsmotorn innefattar fler än 18 insprutningsventiler (5).
- 25 7. Pulsdetonationsmotor enligt patentkrav 1 eller 2, k ä n n e t e c k n a d a v
att munstyckena (5_x) är anordnade för sekvensstyrd insprutning av bränslet i
brännkammaren (2).
8. Pulsdetonationsmotor enligt patentkrav 7, k ä n n e t e c k n a d a v att
30 insprutningsventilerna (5_x) sprutar in en bränsleluftblandning i brännkammaren (2).
9. Pulsdetonationsmotor enligt något av patentkraven 7-8, k ä n n e t e c k n a
d a v att en insprutningsventil sprutar in bränsle i brännkammaren (2) en kort tid
innan detonationen når fram till insprutningsventilen (5_{x+1}) för att minimera tiden
35 bränslet och de fria radikalererna är blandade innan detonationsfronten (10) detonerar
blandningen (8).

10. Pulsdetonationsmotor enligt något av patentkraven 7-9, k ä n n e t e c k n a
d a v att pulsdetonationsmotorn innefattar fler än 5 insprutningsventiler (5).
- 5 11. Pulsdetonationsmotor enligt något av patentkraven 7-9, k ä n n e t e c k n a
d a v att pulsdetonationsmotorn innefattar fler än 18 insprutningsventiler (5).
- 12 Pulsdetonationsmotor enligt något av patentkraven 7-11, k ä n n e t e c k n
a d a v hastigheten på sekvensstyrningen är i närheten av CJ-hastigheten för
10 blandningen av bränsle-luft och restprodukterna.
13. Pulsdetonationsmotor enligt något av patentkraven 1-12, k ä n n e t e c k n
a d a v att bränslet är i gasform, t.ex. vätgas eller acetylengas, flytandeform, t.ex.
flygfotogen, som sprutas in i pulsdetonationsmotorn som en aerosol, eller fastform,
15 t.ex. bor, som sprutas in i pulsdetonationsmotorn i form av ett pulver.
14. Metod att initiera detonationer i en pulsdetonationsmotor (1), k ä n n e t e c
k n a d a v att ett bränsle (6) sprutas in i en brännkammare (2) som har en
axiell utsträckning (20);
20 - att bränslet sprutas in i brännkammaren (2) genom ett flertal
insprutningsventiler (5) anordnade längs brännkammarens axiella
utsträckning (20);
- att bränslet (6) blandas med i brännkammaren (2) kvarvarande
förbränningsgaser (7), innefattande fria radikaler, från föregående
25 detonation;
- att den så erhållna blandningen bringas att detonera.
15. Metod enligt patentkrav 14, k ä n n e t e c k n a d a v
- att alla insprutningsventiler (5) sprutar in bränsle samtidigt i
30 brännkammaren (2).
16. Metod enligt patentkrav 14, k ä n n e t e c k n a d a v
- att insprutningsventilerna (5) styrs individuellt för insprutningen av bränslet i
35 brännkammaren (2).

17. Metod enligt patentkrav 16, k ä n n e t e c k n a d a v
- att insprutningsventilerna (5) sekvensstyrs med en hastighet i närheten av
detonationshastigheten för blandningen av bränsle-luft och kvarvarande
förbränningsgaser.

5

18. Metod enligt något av patentkraven 14-17, k ä n n e t e c k n a d a v
- att insprutningsventilerna (5) sprutar in en bränsle-luftblandning i
brännkammaren (2).

10

PRV020130

SAMMANDRAG

- Uppfinningen avser en pulsdetonationsmotor och en metod att initiera detonationer i en pulsdetonationsmotor. Pulsdetonationsmotorn (1) innefattar en brännkammare (2), en tändanordning (3), samt en bränsleinsprutningsanordning (4) med ett flertal i axiell riktning (20) anordnade insprutningsventiler (5). Insprutningsventilerna (5) är anordnade i motorns längdriktning för sekvensstyrd insprutning av bränsle (6) i de från föregående detonation kvarvarande förbränningsgaserna (7). Detta åstadkommer en blandning av bränsle och fria radikaler som underlättar bildandet av en detonation.

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

1/3

FIG. 1

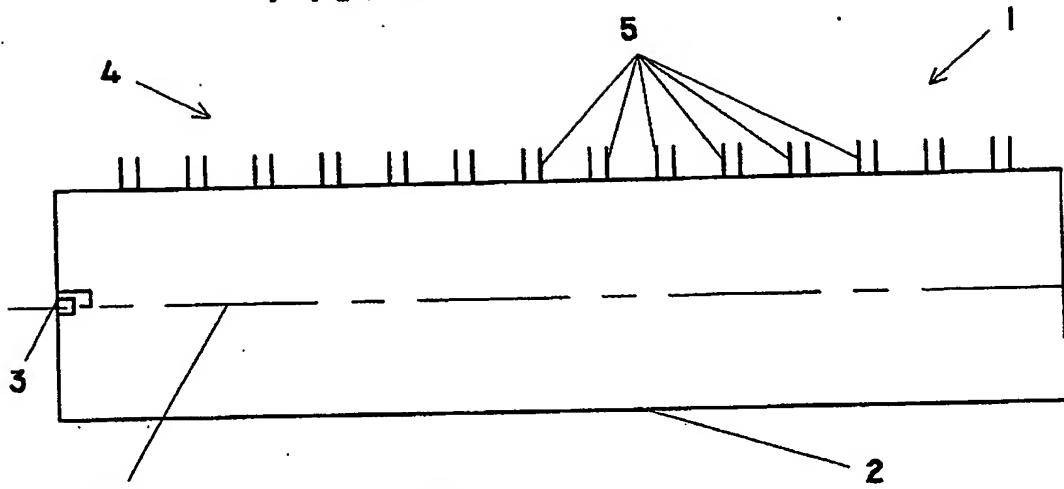


FIG. 2

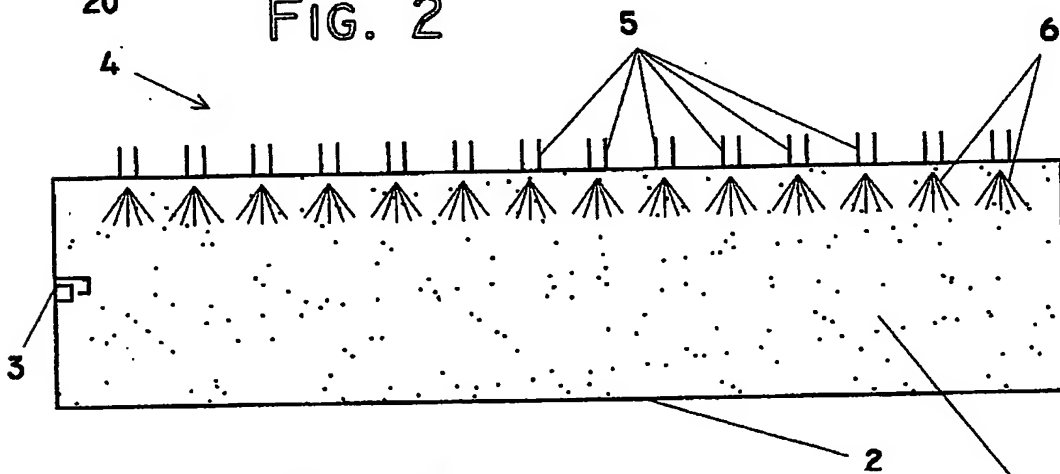
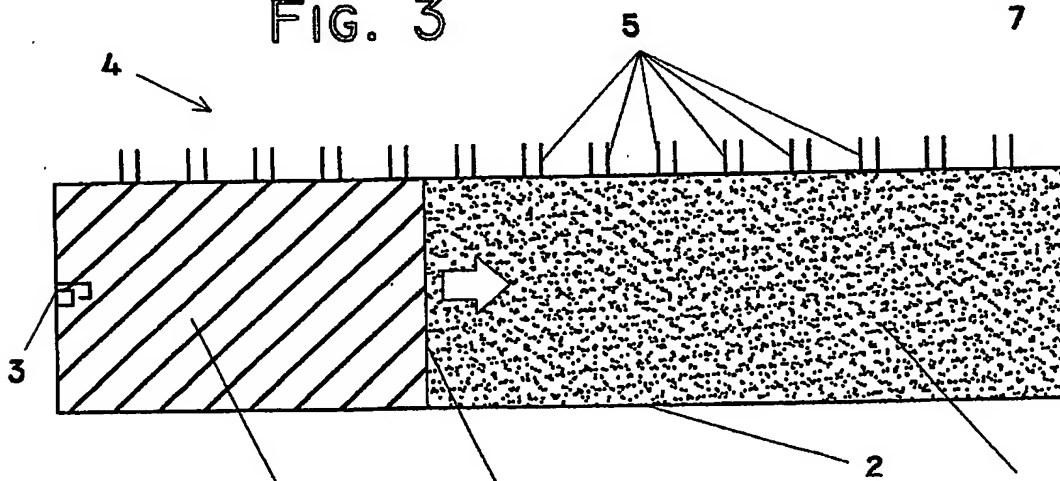


FIG. 3



2/3

FIG. 4

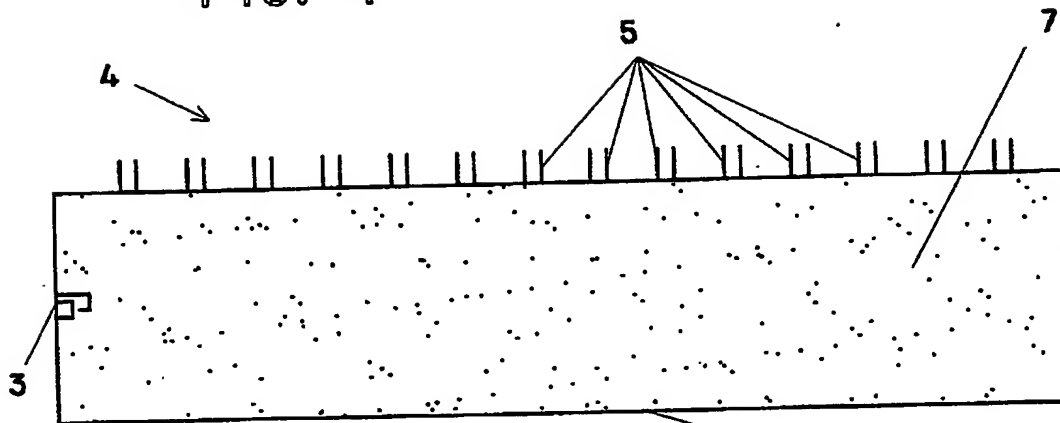


FIG. 5

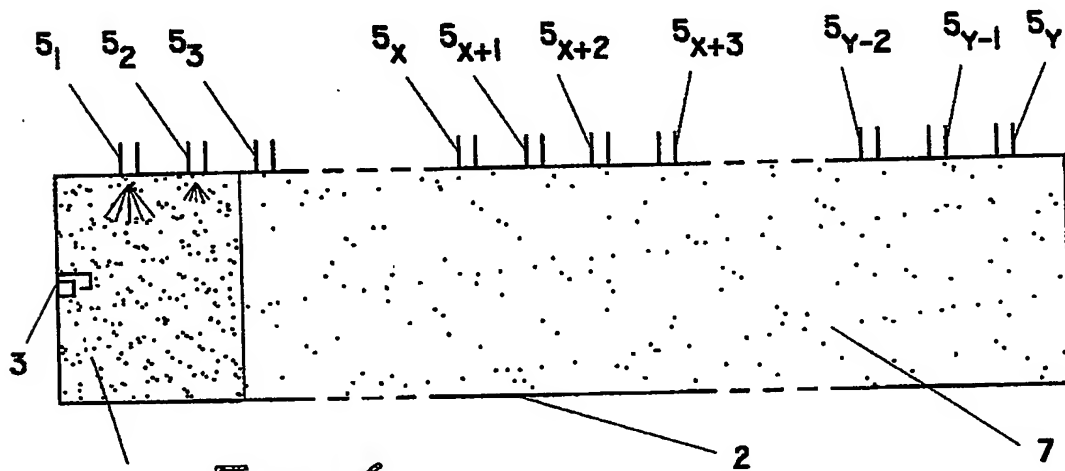
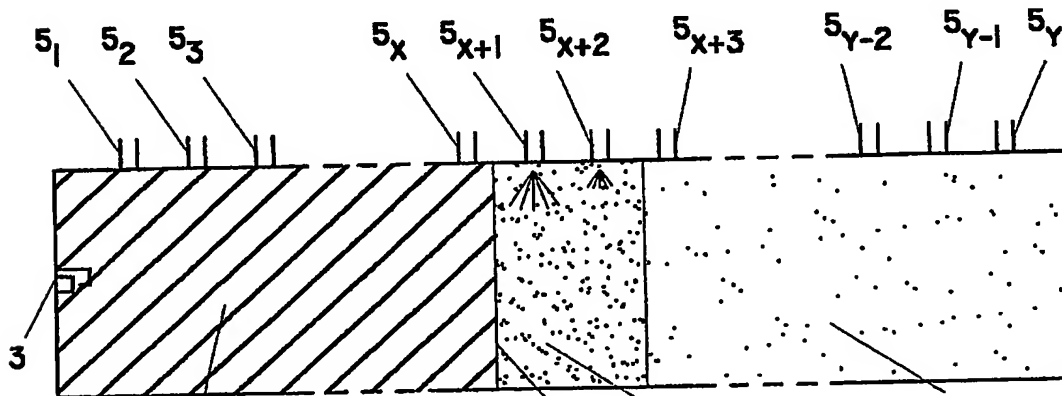


FIG. 6



3/3

FIG. 7

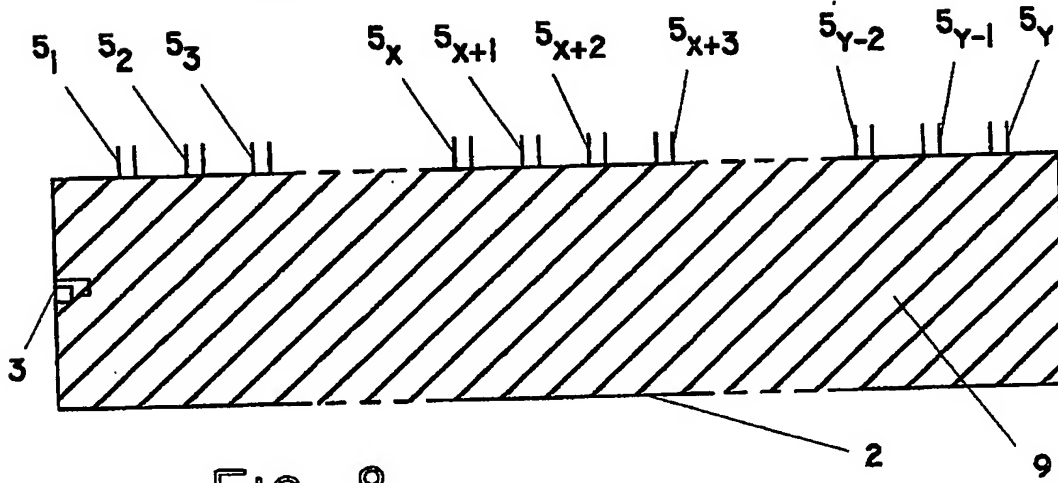
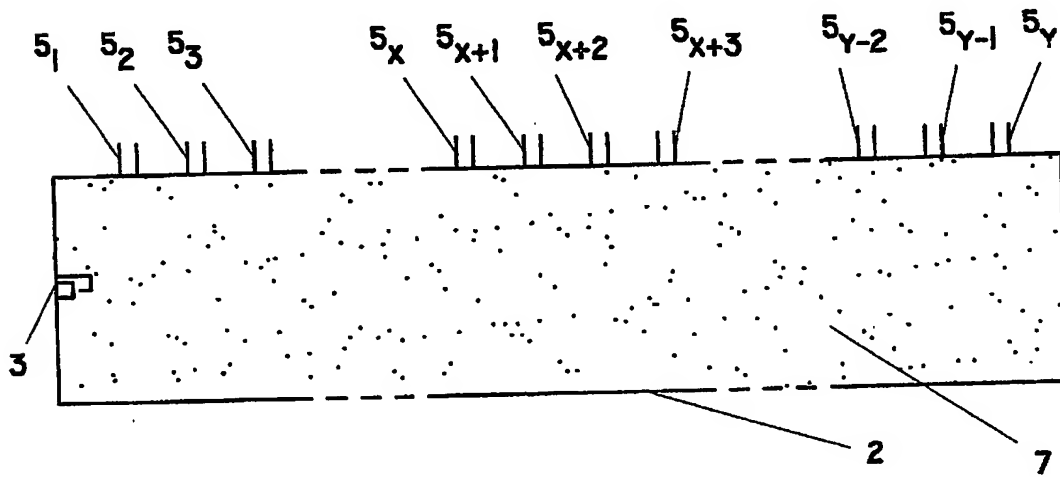


FIG. 8



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☒ **FADED TEXT OR DRAWING**

☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.